熱流板、熱流センサー、熱フラックスセンサー

CHF-HFP01／HFP03

取扱説明書

Rev 1.2

２０１３年5月

Based ON
HFP01/HFP03 manual 取扱説明書 ver.0913 r01

クリマテック　株式会社
〒171-0014　東京都豊島区池袋 4-2-11　CT ビル 6F

Tel　03－3988－6616
Fax　03－3988－6613
E-mail　sales2@weather.co.jp
URL　http://www.weather.co.jp/

目次

E-mail:　sales2@weather.co.jp
URL:　http://www.weather.co.jp/

記号一覧

熱フラックス	φ	$W\ m^{-2}$
測定対象物または媒体の熱伝導率	λ	W/mK
電圧出力	V	V
HFP01 感度	E_{sen}	$\mu V/Wm^{-2}$
E_{sen}の熱伝導率依存性	E_{λ}	mK/W
時間	t	s
表面積	A	m^2
電気抵抗	R_e	Ω
熱抵抗	R_{th}	Km^2/W
温度	T	K
温度依存性	TD	%/K
埋設深さ	d	m

添字

センサー	sen
空気	air
校正	cal
対象物質	obj
土壌表面	surf

概要

HFP01 センサーは、、土壌や壁の内部および建造物の外壁を流れる熱フラックスの測定において、最も一般的に使用されるセンサーです。
セラミック-プラスチックの複合板を使うことにより、センサー自体の総熱抵抗が小さくしています。

HFP01 センサーは、組み込まれた対象物を貫流するまたは、表面を通過する熱フラックスを測定します。当センサーは基本的にサーモパイル（熱電堆）式のセンサーです。このサーモパイルが、セラミックとプラスチックの複合板を通して、温度差を測定します。
HFP01 は、熱フラックスに比例した、微少電圧を出力する完全受動型センサーです。
このセンサーの使用法は、簡単です。精度の良いｍＶレンジ付のテスターにより、誰でも簡単に測定ができます。熱フラックスに換算する場合、電圧を感度で割ります；この感度（係数）は個々のセンサー毎に付属しています。
HFP01 センサーは、建物外壁の熱抵抗（R-値）や熱貫流率（H-値）の現場測定に使用できます。ISO 9869、ASTM C1046、および ASTM 1155 規格に準拠しています。
校正（キャリブレーション）方法のトレーサビリティーは、英国国立物理学研究所（National Physical Laboratory UK、NPL）の「平板直接法、GHP 法(Guarded Hot Plate)」で、ISO 8302 と ASTM C177 規格に準拠しています。
典型的な測定方法は、２個のセンサーを用いることで、それにより、適切な空間平均値を得ることができます。もし、必要であれば、２個のセンサーを直列につなげることで、１つの出力で２つの合成出力を得ることができます。

地中の測定において、より正確な測定が必要な場合、HFP01SC センサーが、最適な推奨モデルです。

より敏感な測定が要求される場合、HFP03 センサーが、最適な推奨モデルです。

以下のような特別な用途：高温度環境、小さいサイズ、または材質の柔軟性等、に対しては、PU シリーズが適しています。

このマニュアルは、HFP03 センサーにも適用されます。 HFP03 と HFP01 の違いは、付録 HFP03 において記述されています。
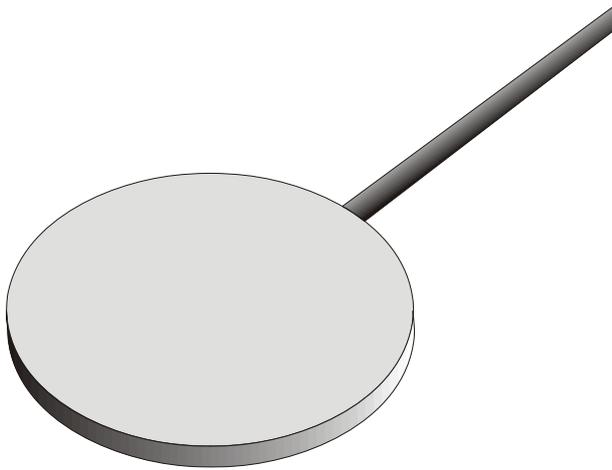
図 1 *HFP01 熱流センサー*
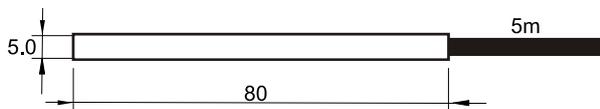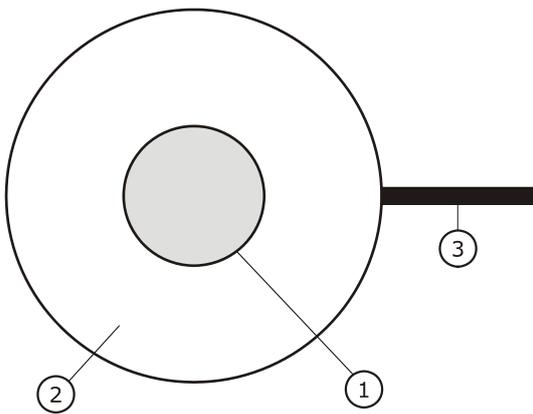
図 2 *HFP01 熱流センサー 寸法:*
(1) センサー部, (2) ガード部 : セラミックープラスチック複合板
(3) ケーブル、標準長さ 5 m(10m)
図中の単位はmm

E-mail: sales2@weather.co.jp
URL: http://www.weather.co.jp/

1　一般理論

1.1　熱フラックスセンサー理論

ほとんどの熱フラックスセンサーと同様、HFP01 のセンサーは、熱電堆です。 この熱電堆は、HFP01 のセラミック-プラスチック複合板に直交した温度差を測定します。 熱電堆は、完全に受動ではたらき、熱フラックスを発生させる温度差に比例した微少電圧を出力します（熱フラックスは、セラミック-プラスチック複合板により分けられた 2 つの面の温度差に比例します）。
もし熱フラックスが安定しており、本体の熱伝導率が一定で、センサーが熱フラックスパターンにほとんど影響しなければ、HFP01 の信号は局所的な熱フラックス（ワット／平方メートル）と比例します。
HFP01 センサーの使用法は、簡単です。精度の良いｍＶレンジ付のテスターにより、誰でも簡単に測定ができます。測定した電圧 V_{sen} を熱フラックス φ, に換算するには、電圧を感度 E_{sen}, で割ります。この感度（係数）は個々のセンサー毎に付属しています。

$$\varphi = V_{sen} / E_{sen} \qquad 1.1.1$$

HFP01 は、全天候性センサーです。また、CE 規定に準拠します。
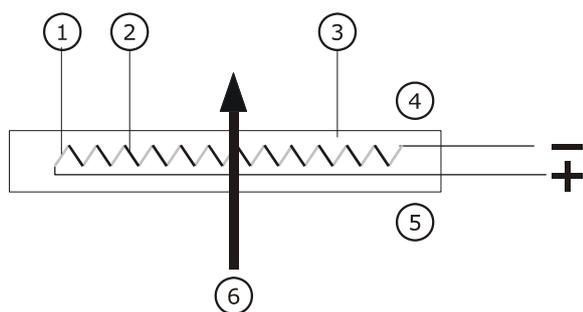
図 1.1 *HFP01 のような熱フラックスセンサーの一般特性*

熱⑥がセンサーを通って流れている時、センサー素材③は熱抵抗として作用します。 その結果、熱フラックスφはセンサーの熱い面⑤と冷たい面④に作られた温度勾配に従って、流れます。
熱フラックスセンサーの大多数は熱電堆(熱電対①②が直列に接続されている)をベースにしています。単体の熱電対は、各接点(温接点と冷接点)の温度差に比例した電圧を出力します(銅-コンスタンタンとコンスタンタン-銅)。この温度差は、エラーが避けられるならば、センサーの厚さと平均的な熱伝導率だけに依存するので、熱フラックスに比例しています。多くの熱電対を直列にすることにより、出力信号は増大されます。 図において、銅-コンスタンタン熱電堆の結合部は、センサーの熱い面と冷たい面の交互に置かれます。
2 つの異なる金属は、異なる色①と②により表されています。
熱電堆は、普通はプラスチックに埋め込まれますが、HFP01 は特別なセラミック-プラスチック合成物による素材に埋め込まれています。
個々のセンサーは、それ自身の感度、E_{sen}, を持っており、それは通常、電圧出力 V_{sen}, /熱フラックス φ(ワット/平方メートル)で表現されます。
熱フラックスの計算は以下の通りです。

$$\varphi = V_{sen} / E_{sen}.$$

この感度(係数)はメーカーで決定され、個々のセンサー毎に係数表が付属しています。

1.2 測定の詳細な説明： 抵抗エラー、接触抵抗、偏りのエラー、および温度依存性について

一次近似として、熱フラックスは以下の式で表されます：

$$\varphi = V_{sen} / E_{sen} \qquad 1.2.1$$

このパラグラフは熱フラックス測定のより詳細な説明を提供します。
偏よりのエラーと温度依存性を補正する下記の理論は、しばしば適用されないことに注意してください。通常、式 1.2.1 は、式 1.2.2 に訂正されます。

有限の熱抵抗を持つ対象物の中または上に、センサーを設置した場合に、センサー自身の熱抵抗が、本来の熱フラックスに重大な影響を及ぼします。 結果として生じるこのエラーは、抵抗エラーと呼ばれ、対象物における総熱抵抗の変化を反映します。
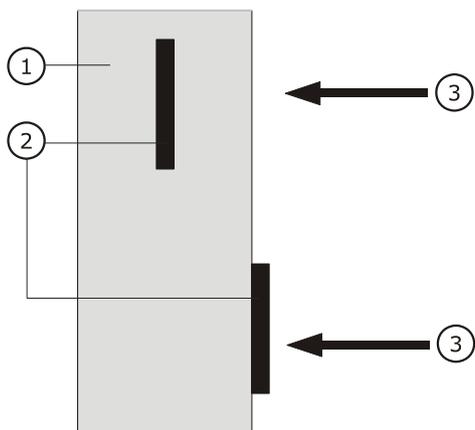
図 1.2.1 *抵抗エラー： 熱フラックスセンサー②は、それが設置、または、埋め込まれた対象物①の総熱抵抗を増大または減少させます。*この事は逆に言えば熱流を測定するセンサー自身によって測定すべき熱流③を大きくしたり小さくしたりしてしまうということです。
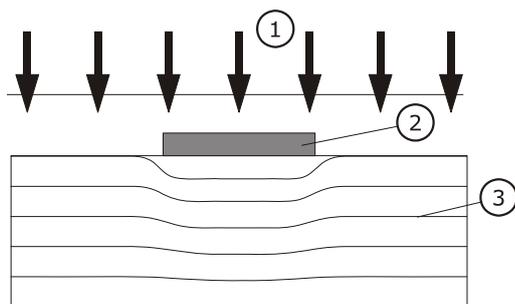
図 1.2.2　*抵抗エラー：熱フラックスセンサー②は、それが設置、または、埋め込まれた対象物①の総熱抵抗を増大または減少させます。　さもなければ、均一な熱フラックス①は、局所的に乱されます③。　図の場合、測定される熱フラックスは実際の乱されない熱フラックスより小さくなります①。*

熱フラックス測定における第一次近似式は以下の通りです。

$$\varphi = (R_{thobj}+R_{thsen})\ V_{sen} / E_{sen}\ R_{thobj} \qquad 1.2.2$$

この近似式は、しばしば、薄いまたは独立した壁で適用されます。
注意：　この近似式は、限られた（有限の）面積の対象物だけに行えます。　そのため、土壌での測定には適用できません。

抵抗エラーに加えて、周辺媒体の熱伝導率が、センサー熱伝導率と異なるという事実が、熱フラックスを偏向させます。その結果として生じるエラーは偏向エラーと呼ばれます。偏向エラーは、異なる熱伝導率の媒体の中で、実験または理論的な近似式の使用により、確定されます。これらの実験の結果から、熱伝導率依存 E_λ が規定されます。
E_λ の大きさはセンサータイプにより大体一定です。
HFP01 センサーでは、E_λ が仕様書にて与えられています。

$$E_{sen} = E_{sen,\ cal}\ (1+E_\lambda\ (\lambda_{cal} - \lambda_{med})) \qquad 1.2.3$$

注意：　この補正は、センサーの両面に十分な幅（最低 40mm）の媒体がある時にだけ適用できます。　地中では、λ_{med} は、通常知られていません。λ_{cal} の値は典型的には 0 です。
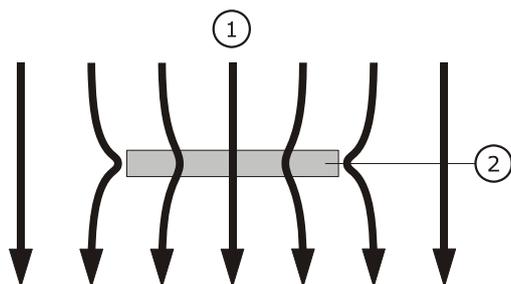
図 1.2.3 *偏向エラー。 熱フラックス①は特にセンサーのエッジで偏向されます。 結果として、測定はエラーを含みます; いわゆる偏向エラーです。 このエラーの大きさは、センサーのデザインだけでなく媒体の熱伝導率、センサーの熱特性に依存します。*

さらに、熱フラックスセンサーの感度は温度に依存しています。 温度依存 TD は、温度により感度が変化するという事実を反映します：

$E_{sen} = E_{sen,\ cal}\ (1+TD\ (T_{cal} - T_{sen}))$ 1.2.4

1.2.3 と 1.2.4 を組み合わせると：

$E_{sen} = E_{sen,\ cal}\ \{(1+E_{\lambda}\ (\lambda_{cal} - \lambda_{med})) + (1+TD\ (T_{sen} - T_{cal}))\}$ 1.2.5

一般に、TD が小さいので、この訂正はほとんど適用されません。

センサー自身の熱抵抗を除くと、センサーと周辺素材の接点抵抗(接触抵抗)にも特別な注意が要求されます 。 本質的に、どのような空気ギャップも、センサー熱抵抗に追加され、同時に偏向エラーを予測不可能な方向で増大させます。 すべてのケースにおいて、センサーと測定対象物との接点は、測定に影響しないように、可能な限りよく安定させる必要があります。空気の伝導率は約 0.02 W/mK であり、熱フラックスセンサーより 10 倍小さいことに注意してください。 つまり、空気ギャップが主たる接点抵抗となるため、熱フラックスセンサーを取り付ける時は、空気ギャップの発生を避けることが、最も重要な優先事項になります。

2　気象学への応用

気象学への応用で、このセンサーの主要な目的のひとつは、地表面における熱収支項のうち、地中に入る地中熱流量を測定することです。 この地中熱フラックス(地中熱流量または地中熱フラックス)は、熱収支項の一部にすぎませんが、地表面における熱収支バランス議論の中では重要です。また、その他の熱収支項である顕熱フラックスと潜熱フラックス測定の品質をチェックするために、エネルギー分配の観点から調べます。熱フラックスに関する更なる情報は、付録を見てください。

HFP01 による地中熱フラックス測定が、ほとんどのケースでは高い精度結果を得られないという事実を認識してください。
主な原因は以下のとおりです：
1 ある局所的な位置での測定は、大きいエリアの中では妥当性があまりない ； 土壌表面の変動性がとても大きい。
2 時間的な土壌温度特性の変化が重要な測定エラーを結果として生じさせる 。

もし土壌熱フラックス測定において、より正確な測定が必要であれば、HFP01SC が推奨モデルです。
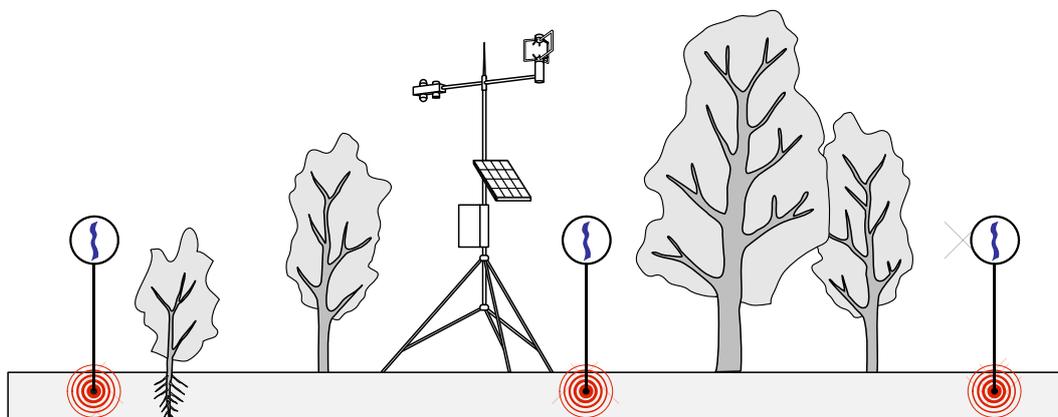
図 2.1 *土中に設置された HFP01 による典型的な熱収支観測システム。*

理想的な環境において、熱フラックスセンサーの初期校正精度は、±3%と見積もられます。

野外実験では、対象領域全体を代表していると考えられる１つの代表地点を見つけることは困難です。 土壌表面の影による一時的な影響は、熱フラックス測定に不正な影響を与えます。 この理由のため、一般に、個々のステーションにて 5 メートルの距離を置いて 2～3 個のセンサーが使用されます 。

測定位置の代表性の問題を除いて、気象学の地中熱フラックス測定における主な問題点は、熱フラックスセンサーの感度が周辺媒体の熱伝導率に依存することです。 この偏向エラーは、1 章において説明されています。 地中熱フラックス測定において、その測定精度は、周辺媒体が未知で、時間により変わる事実から、とても悪い影響を受けます。HFP01 はおよそ 0.8W／mK の熱伝導率を持っている一方、土壌は 0.2 から 4W／mK の両極端の間で変わることがあります。
相対的に乾燥している条件の砂は、0.3W／mK（完全に乾燥で 0.2）の熱伝導率を持っていますが、同じ砂を水で飽和させた場合、2.5W／mK に達します。
乾燥した砂で正しい計測をしている典型的な HFP01 は濡れた砂において 16%のエラーを生じます。 濡れた砂において、熱は相対的に熱伝導率の悪いセンサーのまわりを進む傾向にあるので、熱フラックスは 16%少なく見積もられます。
この例は、条件が変化する土壌では、いわゆる熱伝導率依存が、大きい偏向エラーを引き起こすことを説明しています。

3 番目の重要なエラーは温度依存です。
センサーの動作温度範囲　-30～70℃全体での温度エラーは±5%です。 最低条件の土壌、純粋な砂において、気象学での従来の熱フラックス測定では全体の最低精度は+8/-24%と見積もられます。 これは丸められ +10／-25% です。

ほとんどの状況では、土は純粋な砂ではなく、また、平均的な気候で、毎年の較差は、摂氏-10～+40 度で、熱伝導率の範囲は 0.2W／mK～1W／mK です。従って、温度エラーは +2／-3%、熱伝導率は　+0/-7%、校正は +3／-3% です。 全体の結果 +5／-13% は、丸められ +5／-15% です。

気象学で利用される熱フラックスセンサーは、一般に地表面より約5cm下の深さに埋められます。深さ5cm未満は一般に推奨されません。 ほとんどのケースにおいて、5cmの深さは、長期の安定した計測条件を確保するための物理的な条件にすぎません。
8cmを超える深さは、一般的に推奨されません。
なぜなら、熱フラックスの時間遅延と振幅が、地表面の熱フラックスに追随しにくいからです。詳細については付録を参照してください。

要約：

気象学への応用でHFP01をご使用の場合には、1つのステーションあたり2つのセンサー使用が推奨されます。 これは、測定精度の品質を判断するのにより良い冗長性と可能性を作ります。 一般に、地中熱フラックスは2つの別々のセンサーで測定され、平均値が測定結果となります。
普通の土壌（粘土、シルト）では、12 時間合計で期待される測定精度は、+5／-15%です。
純粋な砂の場合、12時間統計での測定精度は、+10／-25%です。測定精度は主に、周辺媒体の熱伝導率に影響され、土壌の場合には、含水量が支配的な役割を果たします。
砂でより広い精度範囲となるのは、砂の熱伝導率が、含水量により約0.2（完全に乾燥）から2.5（飽和）まで変わることに起因しています。
他の土地、および壁（建築物理学の章を参照）では、熱伝導率の変化はずっと少く； 約0.1W／mK～1W／mKです。
もし地中熱フラックス測定において、より正確な測定が必要であれば、HFP01SCが推奨モデルです。

3　建築物理学への応用

HFP01 センサーは、ISO 9869、ASTM C1046、および ASTM 1155 標準に準拠した　建造外装の熱抵抗（R-値）や熱伝達（H-値）の現場測定に使用できます

建造物のエネルギーバランスを調べると、熱は様々なメカニズムにより交換されるのがわかります。 全体の結果はある熱フラックスです。支配的なメカニズムは、太陽放射による 放射伝達と流れる空気による対流輸送です。

建築物理学のほとんどの応用において、センサーHFP01 は単純に対象物の上または中に設置されます（図 3.1 参照）。 センサー表面では、空気の対流熱および太陽の放射が、伝導性の熱に変換されます。壁中の場合には、壁を通る伝導性の熱フラックスが直接測定されます。もし直接的な太陽光が存在するならば、太陽放射がほとんどを占めます。最大の予期される太陽放射レベルは、約 1500W／m2 です。 空気による熱の対流輸送の場合、対流輸送は壁と空気の間の温度差にほとんど比例し、局所的な風速に強く依存します。 詳細については、“付録　建築物理学での熱輸送”を参照してください。

熱フラックスセンサーは、対象物の総熱抵抗に重要な寄与をしていることが考えられます（抵抗エラー）。このような場合、熱フラックス測定は訂正されなければなりません。訂正については、第 1 章を参照してください。抵抗エラーを抑えるためには、センサーと周辺素材の接合を可能な限り密着および安定させてください。そうすると、空気のギャップの測定に及ぼす影響が最小となります。 センサー熱抵抗が壁の熱抵抗より 3%以上大きいケースでは測定値の訂正は推奨されます。ただし、 壁の熱抵抗が 0.21 Km2/W 以下の場合です。

完全な環境において、熱フラックスセンサーの初期校正精度は、+3/-3%で見積もられます。
HFP01 センサーを壁（断熱レンガ・セメント）に使用する場合、12 時間合計で期待される測定精度は、+5／-5%です。

建造物の外壁の熱抵抗を解析する場合には、最小の推奨測定時間は 48 時間です。

フクセフルックス社では、建造物の外壁を解析するための完全な測定システム「TRSYS」を提供しています：。
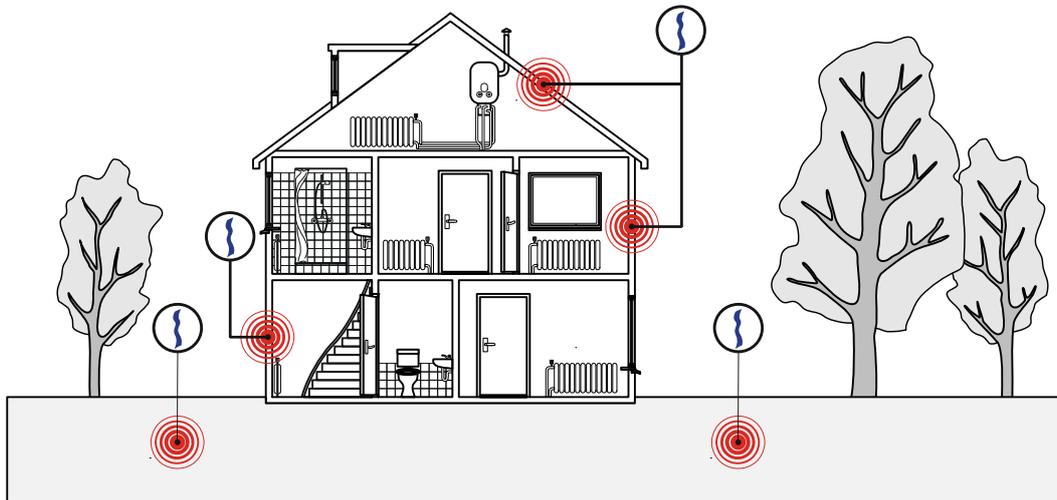
図 3.1 *建築物理学での対流、放射、伝導性熱フラックスの評価。 熱フラックスセンサーは単純に対象物の上また中に設置されます。一般的には壁ですが、地中、例えば地下の熱貯留の上部にも設置されます。*

4　HFP01 の仕様

HFP01 は、対象物の上または中に組みこまれたセンサー表面と直角方向の局所的熱フラックスを測定する熱フラックスセンサーです。HFP01 センサーは、最適な測定および制御システムと組み合わせることにより使用できます。
サイズ、抵抗、感度、および重量を除いた HFP01 の仕様は、HFP03 タイプにも適用可能です。 付録を参照してください。

表 4.1 *HFP01 仕様一覧.（1）　次ページに続く*

HFP01 仕様	
測定対象	センサー表面に垂直な熱フラックス　 W/m^2
設置	設置操作の章　参照
動作温度範囲	-30 ～ +70 ℃
推奨のセンサー数	気象学: 各観測地点で 2 センサー 建築物理学: 一般的に、構造物および壁の特性に依存して測定位置あたり 1 または 2 センサー
CE 要件	CE 規定に準拠
直列接続	HFP01 センサーを直列接続することにより、1 つのロガーチャンネルを使って、より空間解像度の高い感度のセンサーとなります。 感度は 2 つのセンサー感度の平均です。
熱伝導率依存 E_λ	-0.07 % m.K/W（代表値） λ_{cal} = 0
温度依存 TD	< +0.1%/ ° C

E-mail:　sales2@weather.co.jp
URL:　http://www.weather.co.jp/

表 4.1 *HFP01 仕様一覧（２）*　*次ページに続く*

HFP01 測定仕様	
精度	±3%
ISO に従った全体の不確実性	推測　±5%以内 標準の不確実性に被覆率 k = 2 を乗じた値、95%の信頼性。 応用上のエラーには、このエラーが追加されます。
土壌の熱フラックス測定における予測される代表精度 (12 時間合計)	初期校正精度: ±3% 付加エラー: 代表的な土壌 (粘土、クレイ、有機質土壌), 壁面(20 ℃): +0 / - 7% 代表的温度エラー:-10～+40℃ 　+2 / - 3% 土壌でのトータル値 (丸め): +5 / -15 % 以内
土壌の熱フラックス測定における予測される最低精度 (12 時間合計)	初期校正精度: +3 /- 3% 最悪土壌の付加エラー　土壌, 砂 @ 20 ℃: +0 / - 16% 最低条件の温度エラー: -30 + 70　℃ +5 / - 5% 土壌での合計最低値 (丸め): -+10 / -25 %以内
壁面の熱フラックス測定における予測される典型精度 (12 時間合計)	初期校正精度: +3 /- 3% 温度エラー: -10 + 40 ℃ +2 / - 3% 壁面（断熱レンガ、セメント）でのトータル値 (丸め): 以内 +5 / -5 % 低熱抵抗壁 (< 0.21 Km^2/W)では 熱抵抗エラーの校正が必要。

表 4.1 *HFP01 仕様一覧.（３）*

HFP01 センサー仕様	
E_{sen}（代表値）	50 μV/ W. m^{-2}（正確な値は試験成績書にあり） λ_{cal} = 0, T_{cal} =20 ° C
センサー熱伝導率	0.8 W/mK
センサー熱抵抗値 R_{th}	< 6.25 10 $^{-3}$ Km^2/W
応答時間　（代表値）	± 3 分（平均的な土壌と同じ）
測定レンジ	+ 2000 to - 2000 W.m^{-2}
安定性	< 1%　 1 年あたり（通常の気象学／建築物理学で使用の場合）
計測	1 差動電圧測定チャンネル　または 1 シングルエンド電圧測定チャンネル 複数のセンサー使用時、その入力チャネルが不足の場合、感度の平均値をとることで、センサーを直列に設置することが考えられえます。
電圧出力	気象学: -10 to - + 20 mV 建築物理学: -10 to 75 mV (太陽放射へ露出)
電源供給	ゼロ (受動型センサー)
抵抗値	2Ω （代表値） ＋ ケーブル抵抗
プログラミング	$\varphi = V_{sen}/ E_{sen}$
寸法	直径:80mm, 厚さ:5mm
ケーブル　長さ/直径	10(5)m, 5 mmφ
重量（5m ｹｰﾌﾞﾙ含む） 出荷寸法.	0.2 kg 出荷寸法 32x23x3 cm
校正	
校正トレーサビリティ	英国立物理研究所（National Physical Laboratory UK、NPL）の「平板直接法(guarded hot plate)」で、ISO 8302 と ASTM C177 標準に準拠しています。
校正間隔	使用法に依存, 可能であれば　2 年毎, 付録参照
オプション	
延長ケーブル	追加ケーブル長　x　メーター（5m 単位), AC100V アンプ LI18 ハンディ読出, 温度レンジ拡張

5　ユーザーガイド

熱フラックス測定および関連したエラー原因をよく知っていただくため、概要および１章をお読みください。

センサーの設置は、次の章の指示に従って行ってください。 本質的には、電圧の読み出し、および測定値を補正できる機能があるデータロガーおよび制御システムを必要とします。

最初のステップは、6 章のパラグラフで、屋内でのテストについて説明されております。このテストの目的は、センサーが作動するかどうかを確認することです。

2 番目のステップは、最終的なシステムセットアップをすることです。 これは、センサーの応用にも強く依存しますが、通常、センサーの永久的な設置、および測定システムとの接続を意味します。
7 章から 11 章にて説明しています。

6　HFP01の動作チェック

センサーの機能テストとして、センサーのインピーダンスチェック、およびセンサーが作動するか、次のテーブルに従ってチェックしてください：　（必要とされる時間：約5分）

表 6.1 *センサーの機能チェック*
HFP01をどのように作動させるか習得するための簡単なテストを提供、およびセンサーがOKであるかチェックします。

<table>
<tr><td>注意：　このテストの間、熱的に安定したところにセンサーを置いてください。でないと、熱により値が乱されます。</td><td rowspan="2">ケーブルの典型的なインピーダンスは0.1Ω／mです。
典型的なセンサーのインピーダンスは、各5メートルの2つのケーブル（前後）の全抵抗分1.5オームに、典型的なセンサーインピーダンス2オームを加算した値です(この場合3.5Ω)
無限大は回路断を示します。
0は回路短絡を示します。</td></tr>
<tr><td>センサーのインピーダンスをチェックしてください。 10オームレンジのテスターを使ってください。 センサーの出力を通常極性にて最初に測定後、逆の極性で測定して、絶対値の平均値を取ってください。</td></tr>
<tr><td>センサーが熱フラックスに反応するかチェックしてください。 ミリボルトレンジでテスターを使ってください。 センサー出力を測定してください。 センサーを例えば机の上に置いて、赤いサイドに手の平で触れて信号を生成してください。</td><td>熱電堆は、ミリボルト出力信号を発生して反応するはずです。</td></tr>
</table>

データロガーのプログラミングはお客様の責任で行ってください。
お客様のシステムで利用できる使用方法等があるか、販売元へお問い合わせください。

7　気象分野での HFP01 設置方法

HFP01 センサーは、一般に、測定したい位置の地表面より最低 4cm の深さに設置します。設置の典型的な深さは 5cm です。

表 7.1 *気象分野での HFP01 推奨設置方法。*
例外的な設置の場合には、お問い合わせください。

一般に、空間の平均化、および、品質保証の改善にいくらかの冗長性（どちらかが動物などに切られてもどちらかが継続測定する）を持たせるため、2 つのセンサーが観測地点で使われます。センサーは一般に、数メートル離します。
HFP01 センサーをより平坦な表面に設置してください。HFP01 センサーを土で覆う場合、下と上の土が同じになるように行ってください。 もし可能であれば、カットした断面からから HFP01 を設置することが最も確実です。センサーと土の間の空気ギャップを作らないように気をつけてください。
気象学への応用においては、永久的な設置が推奨されます。金属ピンをケーブルに取り付けて、センサーの位置を固定させてください。 ピンのケーブルへの取り付けは、タイラップを使ってください。
HFP01 センサーは、電気的に直列接続することにより、1 つの読み出しチャンネルを使って、空間解像度の良い高感度のセンサーを作ることが可能です。感度は 2 つのセンサー感度の平均です。

8 建築分野での HFP01 設置方法

HFP01 センサーは、一般に壁の表面に設置されるか、または、その代わりに、壁中に組み込まれます。

表 8.1 *建築分野での HFP01 推奨設置方法。*
例外的な設置の場合には、お問い合わせください。（次ページへ続く）

一般に、空間の平均化、および、品質保証の改善にいくらかの冗長性を持たせるため、2 つのセンサーが測定位置で使われます。 センサーは一般に、数メートル離して取付けます。 温度センサーは、壁の両面でセンサーの近くに取付けられます。
太陽放射（直射日光）に直接さらされる位置は、なるべく避けてください。 北半球では、北の壁面が推奨されます。
特に、建造物コンポーネントの熱抵抗（R-値）または熱伝達（H-値）を測定する場合、太陽放射（直射日光）にさらされる位置は避けてください。
センサーを壁面に取り付ける時に、強い放射（例えば、直射日光）にさらされる場合は、センサー表面のスペクトル特性が、壁の特性とマッチするように適応させなければなりません。 これは、同じ色のペイントまたはシート素材でセンサーを覆うことによって行うことができます。
熱貫流率（U-値）測定のためには、より多くの熱フラックスのある条件が最良です； 強く冷却、または強く熱せられた部屋は、理想的な測定場所です。 さらに、一時的にヒーターまたは空調機を作動させるとが考えられます。
理想的には、常に熱フラックスの方向が変化している状況です。 これは、しばしば相対的に小さいフラックスと負荷による強力な効果がともに動作します。
建築材料の詳細な分析のために、ひとつの熱フラックスセンサーを一方に取り付け、もう一つセンサーをもう一方の面に取り付けることが有用な設置方法です。 このような方法で測定することにより、システムの熱応答時間を、より詳細に見ることができます。
センサーの設置位置は、できれば、相対的に均質な大きい壁面にしてください。 局所的な熱橋を持つエリアは避けてください。
より平坦な表面に HFP01 センサーを置くことが望ましいです。 どのような空気ギャップも、接着面にはないようにしてください。

表 8.1 *建築物理学応用での HFP01 推奨設置方法。*
例外的なアプリケーションの場合には、フクセフルックス社にお問い合わせください。
（前ページより）

最も一般的な熱フラックスセンサーの設置には、写真接着剤が使われます。 より高い程度の付着のため、厚手のフォームタイプではない両面テープ（薄い／取り外し可能）を使うことができます。 壁掛け設置のために、両面テープがあり、それは半固定で、比較的容易に取り外すことができます。 無期限な設置のために、一般的な透明なシリコーン接着剤を選ぶことができます。 熱電対の設置には、一般的に両面テープが使われます。 ケーブルの取り付けは、不可抗力の引っぱりに耐えられる物に行ってください。
HFP01 センサーは、1 つの読み出しチャンネルを使って、空間解像度の良い高感度のセンサーを作るため、電気的に直列で置かれます。

図 8.1 *熱フラックスセンサーの短期設置のための推奨接着剤。中性写真接着剤： 写真接着剤は容易に取り外し可能です。*

図 8.2 *熱フラックスセンサーの長期設置のために推奨される接着剤：*
両面テープ； 壁掛け設置用の両面テープは、取り外し可能であることを考慮しています。このテープは温度センサーと熱フラックスセンサーの両方に適しています。 厚手フォームタイプの両面テープは使わないでください； これらは熱絶縁性が高すぎます。
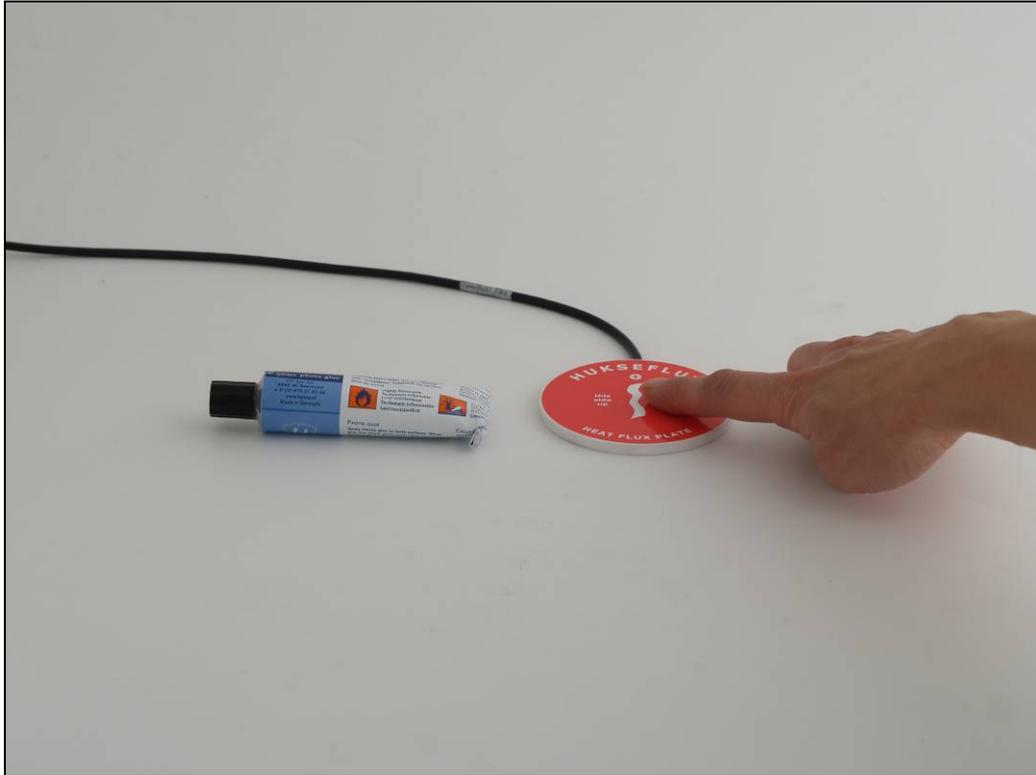
図 8.2 写真接着剤の適用：最初に、センサーに薄い膜のように接着剤をつけてください。
壁に設置する前に、設置部分を乾かしてください。

図 8.3 写真接着剤の適用：接着剤を壁につけてください。
センサーを設置する前に、設置部分を乾かしてください。
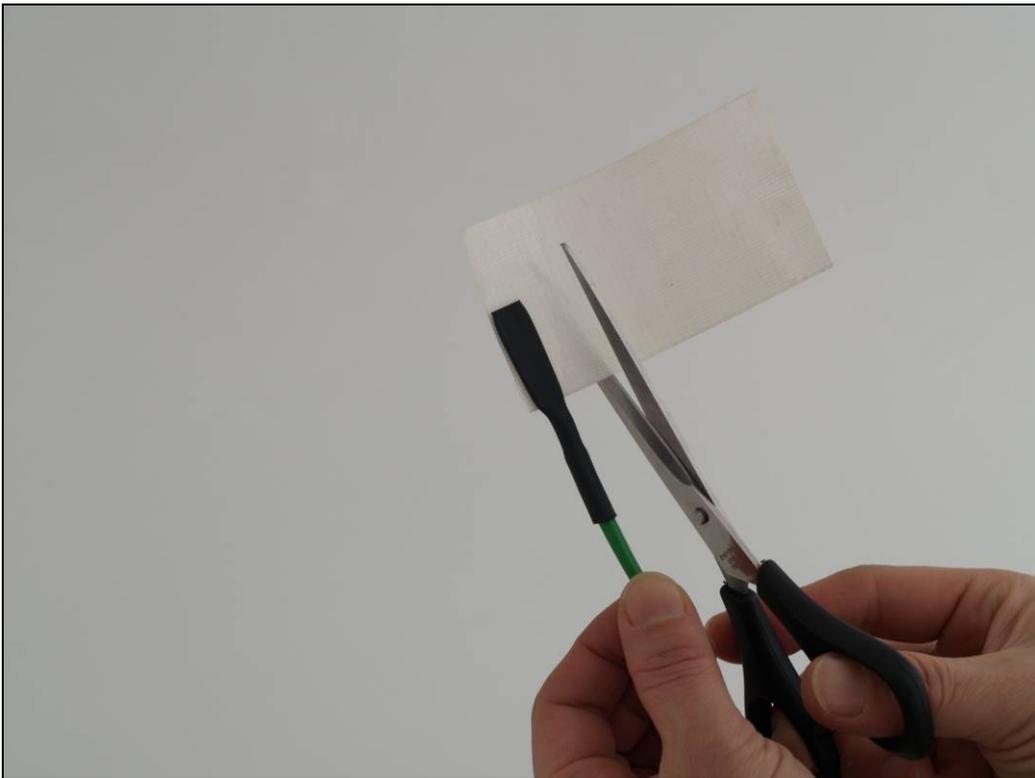
図 8.4 *温度センサーへの両面テープの適用； 余分な部分を切り離してください*

図 8.5 *典型的なケーブルの張りを軽減する構成部分*
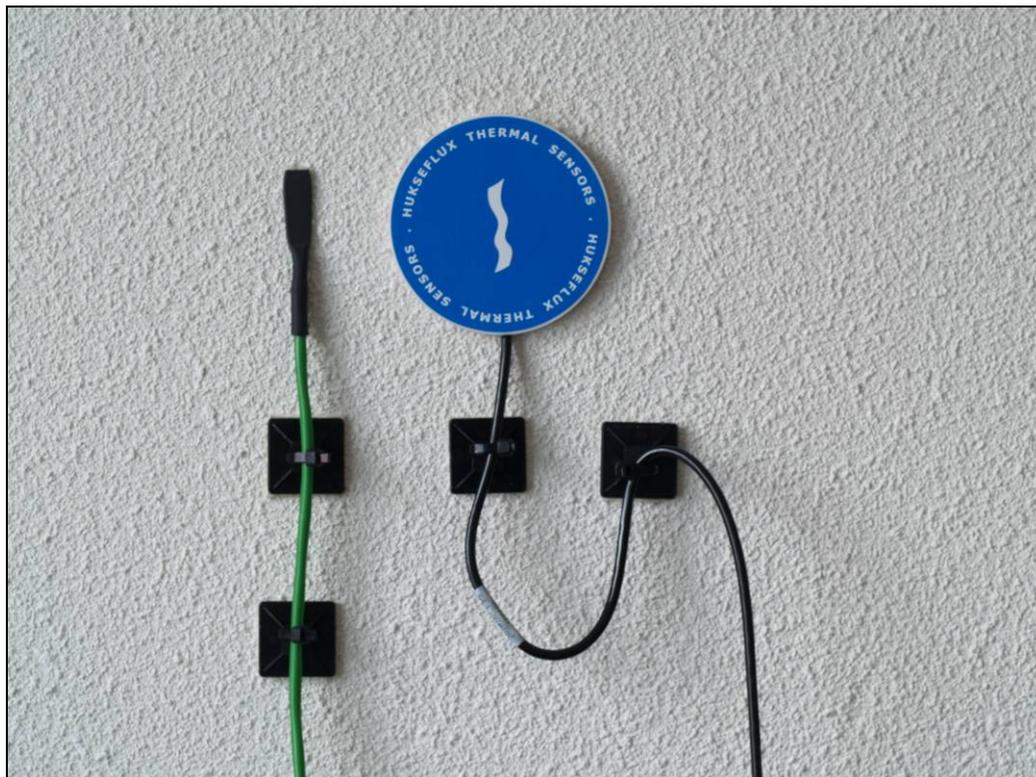
図 8.6 *典型的な設置の最終結果*

表 8.7 要約 するべき事としない方がいいことリスト

するべき事			
	すべき	代案 1	代案 2
位置(北半球)	北面の壁		
取り付け	写真接着剤	両面テープ	シリコン接着剤
張りの軽減	タイラップで固定	タイラップで釘に固定	
信号	部屋のヒータ ON	部屋のエアコン ON	
窓	夜間測定		
訂正	壁面の場合 ＜ 0.21 Km^2/W		
しない方がいいこと			
位置	太陽への露出		
取り付け	空気ギャップ		
窓	昼間測定		

9 HFP01 のメンテナンス

一度設置された HFP01 は、基本的にはメンテナンスフリーです。 通常、機能障害は不当に大きいまたは小さい測定値に表れます。

2 つのセンサーが 1 つの位置に設置された場合、測定結果の比率はその間監視するべきです； これは、もし何かの不安定要素があれば、手掛かりを与えます。 一般的に、2 つのセンサーの長期比較は、工場での再校正にとって変わり、役立つかもしれません。

概して、これは、測定データの厳密なレビューが最も良いメインテナンス方法であることを意味します。

一定の間隔を置いてケーブルの品質をチェックしてください。

理論上は、センサーを再校正のために工場に送り返すことは可能ですが、実際の所は現実的ではありません。特に、もしセンサーが掘って埋められている、または恒久的に表面に接着されている場合、HFP01 の再校正は可能ではありません。 もし 1 つの位置で 2 センサーによる相互比較が不十分であると判断されるならば、モデル HFP01SC 自己校正熱フラックスセンサーの使用が推奨されます。

建築物理学上の使用で、再校正を行う場合、現場に第二のリファレンス用 HFP01 を設置して、より長い時間、出力の比率を測定することにより行うことができます。 10 分平均を測定することによって、その相関性をつくることができます。

データ収集／増幅のための要件

表 9.1 *データ収集と増幅のための要件。*

マイクロボルト信号を測定する機能	推奨: 5 マイクロボルト精度 必要最小限: 50 マイクロボルト精度 （予期される温度範囲の全部に渡り、データ収集／アンプの両方） 低いアンプ精度の場合は、2 つのセンサーを直列に入れるか、プリアンプの購入、またはモデル HFP03 を使うことが考えられます。
データロガーまたはソフトウェアの機能	データ格納、および、放射収支、アルベド等を計算するために感度で除算できる能力

10　HFP01 の電気接続

HFP01 を動作させるためには、上記で説明したような測定システムに接続する必要があります。 典型的な接続は表 11.1 において示されます。
HFP01 は、電源を必要としない、受動型センサーです。
ケーブルは一般的に、容量性の雑音を拾うことによって、ひずみのソースとして作用します。 したがって、データロガーまたはアンプとセンサ間は、できる限り短く保つことが推奨されます。 ケーブル延長に関しては、付録を参照してください。

表 10.1 *HFP01 の電気接続*

ワイヤー	色	測定システム
センサー出力 +	白	電圧入力＋
センサー出力 -	緑	電圧入力ー ／ （アナログ）グランド
シールド		（アナログ）グランド／ 電圧入力ーに接続

熱フラックスプレート出力は通常、差動電圧入力に接続します。

表 10.2 *T 2 つのセンサーHFP01 を直列に電気接続*

ワイヤー	色	測定システム
センサー 1 出力 +	白	センサー 2 出力ー
センサー 1 出力 -	緑	電圧入力ー／ （アナログ）グランド
センサー 2 出力 +	白	電圧入力＋
センサー 2 出力 -	緑	センサー 1 出力＋
シールド		（アナログ）グランド／ 電圧入力ーに接続

複数のセンサー使用で、入力チャネルが不足する場合、いくつかのセンサーを直列に接続して、感度の平均値をとることが考えられます。.

11 付録

11.1 付録 HFP01 のケーブル延長

HFP01 は 1 本のケーブルを備えています。 データロガーまたはアンプとセンサ間は、できる限り短くすることが推奨されます。 ケーブルは一般的に、容量性ノイズを拾うことによって、信号のひずみを生じさせます。 しかしながら、HFP01 ケーブルは少しの問題もなく 100 メーターまで延長することができます。 延長した場合、センサ信号は小さいのですが、センサーインピーダンスが非常に低いので、著しい減衰はありません。
ケーブルと接続仕様について以下に示します。

表 11.1.1 *HFP01 のケーブル延長のための仕様。*

ケーブル	2 線シールド銅線(フクセフルックス社 3 線シールドケーブルは、2 線のみ使用します。)
コア抵抗	0.1 Ω/m 以下
直径	5 mm 推奨
シート	ポリウレタン 推奨
接続	オリジナルのセンサーケーブルに新しいケーブルの芯線とシールドをそれぞれ半田付けしてください、そして、収縮チューブやブチルテープを使用して防水加工してください。 延長時もシールドを使用されることを推奨します。

11.2 付録　トラブルシューティング

ここではセンサが正常に機能しない場合の故障診断する手順を説明いたします。

表 11.2.1 *HFP01 のトラブルシューティング*

センサ信号が無い	1 センサーのインピーダンスを測定する。 センサーが埋められている場合でも、このチェックは行えます。 抵抗は、約 2 オーム（センサー抵抗）にケーブル抵抗（代表値：0.1 オーム／m）を加算した値になります。それがゼロに近ければ、短絡しています（配線をチェックしてください）。 それが無限大であれば、接触不良です(配線をチェックしてください)。 2 センサーが強制的な熱フラックスに反応するかどうかチェックしてください。センサーの片側に、ランプの証明を当てたり、手で暖めたりします。 3 mV レンジの電圧テスターでデータをチェックしてください。
センサー信号が異常に高いまたは低い	1 正しい校正係数が測定器（プログラム）に入れられているかチェックしてください。 各センサには、個々の校正係数があります。 2 電圧の読取値が校正係数で割られているかチェックしてください。 3　センサーの設置状態が、良い状態であるかチェックしてください。 4 ロガーへの接続状態をチェックしてください。 5 ケーブルの状態をチェックしてください。 6 熱フラックスがマイナス、または、振幅が範囲を超えていないか、データロガーの範囲をチェックしてください。 7.センサーの表裏が逆でないかチェックして下さい。 8 mV レンジの電圧テスターでデータをチェックしてください。
センサー信号が著しく変動する	1 電磁放射の強い発信源がないかチェックしてください。（レーダー、放送局など） 2 シールドの状態をチェックしてください。 3 センサーケーブルの状態をチェックしてください。

11.3 付録　熱フラックスセンサー校正

熱フラックスセンサーの感度 E_{sen} は、平方メートルあたりを流れる熱フラックス W による出力電圧 V_{sen} として定義されます。

製造に適用される一般的な校正方法を以下に説明します。
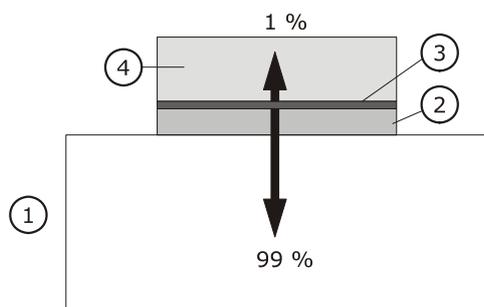
図 12.3.1 *HFP01 の校正方法；*
熱フラックスセンサーは②、常温の金属ヒートシンク①に設置して校正されます。 フィルムヒーター③は、既知の熱フラックスを発生させるのに使用されます。 もしセンサーの熱伝導率が 0.8W／m.K で、300W／m² の熱フラックスにて、センサーの厚さが 5mm であれば、 ヒーターによる温度上昇は 2 度です。絶縁されていないセンサーにおいて、これは、放射および対流のロスにより、約 20W／m² のエラーを結果として生じます。この理由のため、ヒーターは、再び、発泡絶縁材料を使って絶縁されます。 そこで、熱フラックスの 99%はセンサーを通過します。 結果として、精度は約 1%です。 この方法は、リファレンス校正との比較により、確認される必要があります。

校正（キャリブレーション）トレーサビリティーは、英国立物理研究所（National Physical Laboratory UK、NPL）の「平板直接法(guarded hot plate)」で、ISO 8302 と ASTM C177 標準に準拠しています。
フクセフルックス社の HFP01 校正参照条件を下記に示します：

温度：　20 ° C
媒体熱伝導率：　0 W／mK
熱フラックス：　300 W/m²

11.4 付録　気象学での熱伝達

注意：この付録において使われているすべての単位は、文章内で明確化されていますが、記号一覧に記述されていないものが含まれています。

熱は、放射、対流、および伝導により伝達されます。

ほとんどの気象実験では、昼間の主な熱源は、太陽の短波放射です。 水平面で太陽放射の最大パワーは、約 1500W／㎡で、正午の明るい日光の場合です。 太陽放射は土により吸収され、結果として生じている熱は、水の蒸発のために使われ、空気を熱し、土を熱します。
夜、太陽がない時には、赤外(短波)放射が主な役割を果たします； この場合、主なエネルギーの流れは土壌からであり、空に赤外放射を放ちます。 最大のパワーは、クリアな青空の場合に、約（マイナス）-150W／㎡です。他のソースは、放射に比べ通常無視できます。
土壌の深さ 5㎝を通るエネルギーの流れは、通常-100 から+300W／㎡までです。

様々な実用的、および理論的な理由のため、熱フラックスプレートは地表面に直接取り付けることはできません。 主要な理由は、それが水蒸気の流れをゆがめ、そして、水蒸気-および熱／スペクトルの観点より、もはや周辺土壌を代表していないことです。 また、地表面に近い設置の場合、センサーはより無防備で、設置の安定性において不確かなファクターになります。
これらの理由により、土壌表面のフラックス φ_{surf} は、一般に、熱フラックスセンサー, φ_{sen} に、一定時間、その上の層に蓄えられたエネルギーの変化量 S を加算した値に見積もられます。

$$\varphi_{surf} = \varphi_{sen} + S \qquad 11.4.1$$

パラメータ S は貯留項と呼ばれます。
貯留項は、平均化された土壌温度測定に、熱容量（センサーの上の容積）の見積りを組み合わせて計算されます。

$S = (T_1-T_2).\ C_v.d\ /\ (t_1-t_2)$ 11.4.2

S 貯留項、
T_1-T_2 測定間隔における温度変化、
C_v 定積熱容量、
d 土壌熱フラックスセンサーの設置深さ、
t1-t2 測定間隔の長さ。
設置深さ 4cm で、貯留項は、一般に、総フラックスφ_{surf}の最高 50%で表れます。 地表面直下の温度が測定される時、貯留項測定が変化量φ_{surf}になる応答時間は 20 分のオーダーになり、熱フラックスセンサーφ_{sen}（ 2 倍の深さに埋められている）の間は、4 倍よりゆっくりです（深さの平方）。
これは、高い時間解像度による貯留項の正しい測定が、φ_{surf} の正しい測定に必須であることを明示しています。
通常、熱容量 C_v は、乾燥している土の熱容量 C_d 、乾燥している土の容積密度 r_d 、含水率 q_m 、および、水の熱容量 C_w から見積もられています。

$C_v = r_d\ (C_d + q_m\ C_w)$ 11.4.3

水の熱容量は知られていますが、方程式の他のパラメータは、非常に決定しづらく、位置と時間に依存します。
容積密度と熱容量を確定するためには、局所的なサンプルを取ることと、慎重な分析を実行することが必要です。土壌含水量の測定は難しく、様々なエラーが存在します。したがって、貯留項の推定は、しばしば、土壌エネルギーバランス測定において、主要なエラーとなります。

11.5 付録　建築物理学での熱伝達

注意：この付録において使われているすべての単位は、文章内で明確化されていますが、記号一覧に記述されていないものが含まれています。

熱は、放射、対流、および伝導により伝達されます。

建築物のほとんどの研究において、昼間の熱の主要なソースは、太陽放射、および外の空気から壁への対流伝達です。 夜の間に、対流だけが残留します。 水平の表面で太陽の最大のパワーは、正午の明るい日光の場合で、約 1500 W/m^2 です。 水平でない壁の太陽放射は、主に、直接的なビーム（散乱に反して）太陽放射(直達日射)によって決まります。 直接的なビーム太陽放射は日中の間、強度と方向の両方で極端に変動します。

壁から空気への熱の対流伝達 φ_{air} は、熱伝達係数 C_{tr} と空気-センサーの温度差 $T_{air} - T_{sen}$ の関数です。

$$\varphi_{air} = C_{tr} (T_{air} - T_{sen}) \qquad 11.5.1$$

屋内の条件では、1 m/s の風速を予測できます。 動作環境では、90%が風速 0.5 m/s 未満となるでしょう。 屋外の条件では、最大 30 m/s で、90%は風速 15 m/s 未満と考えられます。

適量な風速にて、熱伝達係数の妥当な近似値は、次式で与えられます:

$$C_{tr} = 5 + 4\ V_{wind} \qquad 11.5.2$$

C_{tr}　W/m_2K
V_{wind}　m/s.

11.6 付録 HFP03

HFP03は、土壌、壁中、および建造外装を通過する小さい熱フラックス測定するための極端に敏感なセンサーです。
HFP03は、10 W/m^{2}未満のオーダーのフラックスレベルを検出する必要があるアプリケーションのために、特別に作られました。

表 11.6.1 *HFP01とHFP03の違い*

	HFP01	HFP03
感度	50 μV/ W.m^{-2}	500 μV/ W.m^{-2}
直径	80 mm	172 mm
抵抗	2 Ω	18 Ω
5mのケーブルを含む重さ	0.2 kg	0.8 kg
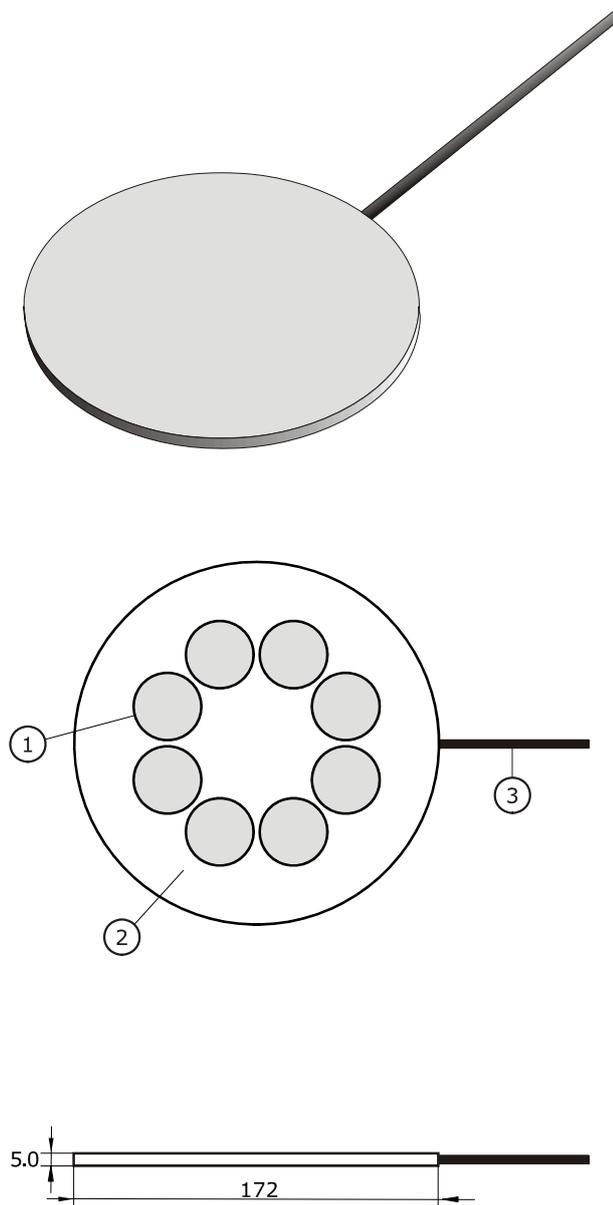
図 11.6.1 *HFP03 HFP03 熱フラックスプレート　寸法：*
①センサーエリア　②ガード、セラミックプラスチックの合成物、③ケーブル、標準の長さ 5m。すべての寸法は mm です。

11.7 CE 適合宣言

According to EC guidelines 89/336/EEC, 73/23/EEC and 93/68/EEC

We: Hukseflux Thermal Sensors

Declare that the products: HFP01 and HFP03

Is in conformity with the following standards:

Emissions:	Radiated:		EN 55022: 1987	Class A
	Conducted:		EN 55022: 1987	Class B
Immunity:	ESD	IEC 801-2;	1984	8kV air discharge
	RF	IEC 808-3;	1984	3 V/m, 27-500 MHz
	EFT	IEC 801-4;	1988	1 kV mains, 500V other

Delft,
January 2006